干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

吐鲁番和若羌冬季气溶胶垂直分布的飞机观测分析

郑博华[1]， 陈 胜[1]， 李圆圆[1]， 樊茹霞[2]， 孔令文[1]， 郝 雷[1]
（1. 新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室，新疆 乌鲁木齐 830002；
2. 内蒙古自治区气象科学研究所，内蒙古 呼和浩特 010051）

摘 要：利用2019年冬季吐鲁番和2020年冬季若羌共14次完整机载探测气溶胶资料，结合宏观天气资料及大气污染数据，研究飞机爬升或降落阶段两地上空气溶胶粒子数浓度、粒子平均粒径的垂直变化规律，分析不同高度的粒子谱分布特征。结果表明：(1) 两地冬季气溶胶粒子数浓度及粒子直径存在明显差异。在无明显天气过程下，若羌气溶胶粒子数浓度均值(5354·cm^{-3})明显高于吐鲁番(3948·cm^{-3})；粒子平均粒径来看，均值差异不大，但吐鲁番出现大直径粒子(0.16 μm)数量高于若羌(0.13 μm)。2019年12月15日大风后最为明显，粒子直径最大值达到0.21 μm，这与沙尘气溶胶多有关联。从垂直变化情况来看，两地气溶胶粒子数浓度均随高度增加而升高，若羌各层普遍高于吐鲁番，但吐鲁番近地面粒子直径随高度增加有明显下降，若羌整层变化很小。(2) 吐鲁番、若羌气溶胶粒子数浓度和粒子平均粒径受大风、降水等天气过程以及逆温层的影响十分明显。两地高层均主要为输入型气溶胶，低层差异主要是由于吐鲁番地区人为源气溶胶粒子的排放导致的大气环境污染。(3) 吐鲁番、若羌两地粒子谱分布在0.10~3.00 μm范围内变化趋势大体一致，主要以小粒径为主，谱分布受天气过程影响变化较为明显。(4) 从三模态粒径相似度对比可以得出，无论是吐鲁番还是若羌，在第一模态中数谱分布差异不大，若羌平均相似度为50.330%，略高于吐鲁番46.770%。有明显天气过程时，吐鲁番气溶胶数谱在二、三模态相似度(小于0.020%)急剧下降，而若羌第二模态相似度仍满足置信度95%，但第三模态中变化凸显，相似度不足0.020%。

关 键 词：气溶胶；飞机探测；垂直分布；气溶胶粒子数浓度；粒子直径
文章编号：

气溶胶(直径0.01~100 μm)，是大气与悬浮在其中的固体和液体微粒共同组成的多相体系[1]。众所周知，地球能源最重要的来源是太阳辐射，气溶胶通过吸收和散射影响太阳辐射进而对大气有加热或者冷却作用，这会改变大气的热力状况，不仅影响其动力结构，同时对大气环流、降水分布、中长期天气预测具有重要意义。不可否认，全球工业化进程大幅提升导致各种工业废气及化学有害物质排放量持续增加，造成严重空气污染的同时也威胁着人类身体健康，如$PM_{2.5}$，也称细颗粒物，可直接进入人体肺部并在肺泡内沉积，因此不断增加的气溶胶不仅污染环境，同时加速影响全球的气候变化趋势。与20世纪相比，这些人为源气溶胶粒子浓度呈指数型增长趋势[2-3]。在我国中部部分大气污染严重区域，大气温度廓线及环流受到气溶胶直接辐射影响凸显，由此带来对气溶胶层的高度厚度、气溶胶光学特性影响也各有不同。因此，气溶胶造成的环境变化及气候变化问题受到了公众和科学界的广泛关注。

通过飞机搭载机载探测粒子设备对大气气溶

收稿日期：2022-02-16； **修订日期**：2022-06-13
基金项目：新疆气象局引导性计划项目(YD202204，YD202203)；自治区自然科学基金项目(2021D01A153)；中国气象局西北区域人影建设研究试验项目(RYSY201902)；中国气象局云雾物理环境重点开放实验室开放课题(2020Z00705)；基于探测飞机资料的新疆不同地区垂直高度粒子分布特征研究项目资助
作者简介：郑博华(1988-)，男，硕士研究生，主要从事计算机图形学、数据处理与人工影响天气方面的研究. E-mail: 115125991@qq.com
通讯作者：李圆圆(1982-)，女，高级工程师，主要从事灾害性天气及人工影响天气方面的研究. E-mail: 48307374@qq.com

胶的观测统计系统出现在20世纪80年代初[4-7]。国内探测起步稍晚，起初主要集中在环境效应层面，王喜红等[8-11]分别对盐类气溶胶进行了研究，通过对粒子谱分布、化学组成和辐射(光学)特性研究为由气溶胶辐射强迫对环境效应模型及气候变化评估预测模式提供了参考依据。沙尘气溶胶方面，高卫东等[12]得出塔里木地区沙尘暴期间其气溶胶浓度远大于非沙尘暴期间；田磊等[13]计算分析了沙尘气溶胶对太阳辐射和大气逆辐射的影响，得出沙尘对太阳总辐射有一定程度的削弱作用；申彦波等[14]对敦煌地区气溶胶粒子数浓度做了观测分析，分析了戈壁沙漠和绿洲农田的气溶胶粒子数浓度与沙尘天气的关系以及2种地表下数浓度的差异；此外，高宇潇等[15]用MODIS气溶胶光学厚度(AOD)数据和地面监测站$PM_{2.5}$浓度数据进行相关性分析，二者相关性良好；范学伟等[16]利用CALIOP冰云和气溶胶3级月平均产品以及大气3级日平均产品研究了气溶胶对冰云的影响，认为纬度与冰云的分布密切相关。近20 a，随着高性能飞机的不断投入使用以及机载探测设备的稳定性逐步提升，利用飞机对气溶胶粒子直接观测成为了了解气溶胶基本特性不可或缺的手段之一[17-18]，Zhang等[19]通过对北京2005年和2006年春季17架次的飞行观测资料进行了分析研究后，认为气溶胶的垂直分布特征与气象条件有十分密切的关系；黄梦宇等[20]得出不同地区气溶胶粒子区域分布特征存在明显差异，例如北京气溶胶粒子数浓度超过$6000 \cdot cm^{-3}$，细模态粒子主要分布在边界层内，而山西气溶胶粒子数浓度为$1000 \cdot cm^{-3}$，主要为积聚模态粒子[21]；朱首正等[22]使用一套基于碘分子滤波器的机载高光谱分辨率激光雷达系统开展飞行实验，研究了秦皇岛地区的气溶胶变化趋势、不同下垫面类型下的气溶胶分布以及秦皇岛气溶胶AOD的高值地区，得出三者相关性优于0.95；赵德龙等[23]利用空中国王飞机平台搭载单颗粒黑碳光度计(SP2)针对北京2016年12月冬季一次污染过程进行了连续观测，结果表明，此次污染过程是以$PM_{2.5}$污染为主的霾污染过程，最大值为432 $\mu g \cdot m^{-3}$。不可否认很多地区受到探测设备和经费的限制，对气溶胶垂直分布的观测还极度缺乏，况且大气气溶胶时空分布复杂多样，因此需要在不同地区持续开展气溶胶探测分析弥补其空间空缺。

新疆作为21世纪战略资源枢纽和欧亚大陆通道，在推进“一带一路”壮丽宏图中，国家立志将新疆打造成“丝绸之路经济带核心区”，成为丝绸之路上举足轻重的交通枢纽、商贸物流和文化科教绝对核心。吐鲁番，是乌鲁木齐的门户，地理位置优越，地处亚欧大陆腹地，拥有多个国家级景区，2018年11月市区空气质量指数(AQI)曾一度达到全国倒数第一；若羌，地处巴音郭楞蒙古自治州东南部，塔克拉玛干沙漠东南缘，2020年3月城区出现了能见度不足50 m的强沙尘天气，仿佛置身沙海。雾霾沙尘等问题[24]近年来也一直受到各级政府的高度关注，不少学者专家也致力于如何有效减少大气霾现象的产生，随着霾现象日益加剧，更多的探测飞行也集中在霾天气下进行，气溶胶对霾天气的作用机理得到了一些研究成果[25-28]。此前在新疆地区进行高性能飞机机载气溶胶探测飞行几乎为空白，自2019年年底起在吐鲁番、若羌两地开展气溶胶探测飞行，分析研究气溶胶粒子数浓度、垂直分布、粒子平均粒径等，这对了解两地大气气溶胶时空分布及粒子的物理、化学特征具有重要意义。

1 研究区概况

吐鲁番是天山东部的一个东西横置的形如橄榄状的山间盆地，四面环山，西起阿拉山沟口，东至七角井峡谷西口，日照时间长，全年约3200 h，以干燥、高温、多风为主，属于典型的大陆性暖温带荒漠气候。蒸发量大，降水量少，冬少严寒，风小雪少，是中国乃至世界上干旱少雨区之一。由于吐鲁番地势高低悬殊，高差达到5600 m，温度振幅大，进一步导致了多风天气的产生，因此由大风引起的土壤扬沙尘和周边小型工业源成为了该地最主要的气溶胶贡献源。

若羌位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州境内，西接且末县，北邻尉犁县及鄯善县和哈密市。境内高山、盆地相间，地形多样。若羌属暖温带大陆性气候，其特点是冬冷夏热、干燥少雨，光热资源非常丰富，日照时间长，昼夜温差大；年平均降水量28.5 mm。由于其西邻塔克拉玛干沙漠东部，东南与库姆塔格沙漠相接，与北疆其他区域相比，地理位置较为特殊，因此具备丰富的沙源，其土壤中粒径小于2.5 μm细颗粒达到了50%，因此是大气沙尘气溶胶中的主要来源和潜在来源[29]。

2 数据与方法

2.1 机载探测仪器

飞行探测使用的是美国生产的空中国王350i飞机，改装后最大升限为8400 m，巡航速度为350~400 km·h^{-1}，爬升速度为400 m·min^{-1}，最大探测作业航程4 h，最大载重7200 kg。飞机上搭载了美国DMT公司的粒子测量系统，该飞机于2019—2020年冬季和2020—2021年冬季分别在吐鲁番和若羌开展飞机探测作业试验任务。仪器主要包括：Ka波段云雷达、被动气溶胶谱探头、云凝结核计数器、云组合探头、降水颗粒图像探头、热线含水仪、航空器综合气象监测系统等。

本文主要对气象要素与被动气溶胶谱探测数据进行处理与分析(图1)。飞机综合气象要素测量系统主要测量温度、气压、动压、相对湿度、风向风速等气象与飞机飞行要素，采样频率为1 Hz；被动气溶胶谱探头利用散射中米散射原理测量气溶胶的粒子谱及浓度，进而得到大气气溶胶粒子分布特征，测量范围是0.10~3.00 μm，采样体积为1 cm^3，频率为1 Hz，最小分辨率为0.01 μm，其中粒径范围位于0.10~0.18 μm、0.18~0.30 μm、0.30~0.60 μm、0.60~3.00 μm所对应的通道间距分别为0.01 μm、0.02 μm、0.10 μm、0.20 μm，总计30挡。

2.2 飞行概况及资料

表1给出了14次具有完整探测数据的飞行概况以及当天天气实况，飞机的起落分别在吐鲁番交河机场和若羌楼兰机场，气溶胶粒子数谱分布特征采用的数据为所在机场上空起降时3700 m内的大气气溶胶数据；表2给出了14次探测飞行起飞降落时次所对应的小时能见度，由于若羌未有环保监测站点，故只罗列了吐鲁番环保局对应时间内AQI、$PM_{2.5}$小时浓度以及PM_{10}小时浓度，表中AQI、$PM_{2.5}$小时浓度、PM_{10}小时浓度数据由国家生态环境部设置的监测站点观测得到，来源于网址(http://www.aq-istudy.cn/historydata/)。从表2不难看出，对应起降时间内若羌能见度(均值15.5 km)明显优于吐鲁番(均值6.7 km)，在吐鲁番前6次探测飞行中AQI均达到了三级轻度污染(101~150)，2020年1月14日AQI超过了150，到达了四级中度污染，四级中度污染可能对健康人群心脏及呼吸系统有一定影响。从吐鲁番$PM_{2.5}$、PM_{10}数据分析来看，7次飞行的$PM_{2.5}/PM_{10}$分别为：48.4%、66.7%、69.7%、48.8%、76.1%、50.5%、49.0%，可以看到小粒径(小于2.5 μm)占10 μm一半甚至更高，也说明了吐鲁番周边工业发展带来的人为源气溶胶粒子的过多排放，可能加剧了该地大气环境污染。图2给出了两地探测作业飞机的飞行轨迹。

被动气溶胶谱探头得到的数据经处理后根据以下方法计算后得出对应结果。

$$\overline{D}=\frac{\sum n_i D_i}{\sum n_i} \tag{1}$$

$$N=\sum n_i \tag{2}$$

式中：$\overline{D}$为粒子平均粒径(μm)；n_i为第i通道的中气溶胶粒子数浓度(cm^{-3})；D_i为第i通道的中值直径(μm)；N为气溶胶粒子数浓度(cm^{-3})。

(a) 综合气象监测系统探头



(b) 被动气溶胶谱探头



图1 航空器综合气象监测系统大气数据探头和被动气溶胶谱探头

Fig. 1 Atmospheric data probe of aircraft integrated meteorological monitoring system and passive aerosol spectroscopy probe

表1　飞行概况

Tab. 1　General situation of flight

机场	探测高度/m	日期(年-月-日)	起降	时间	天气背景	天气实况
吐鲁番交河机场（海拔高度214 m）	350~4050	2019-12-15	d	14:46:30—14:58:43	短波	多云(14日夜间大风)
		2019-12-20	u	16:57:00—17:04:11	北支槽	多云
		2019-12-24	u	11:34:21—11:41:21	中压低槽	多云
		2019-12-29	u	12:04:09—12:50:08	中压短波槽	多云
		2019-12-29	d	13:48:44—14:22:08	中压短波槽	多云
		2020-01-10	u	11:25:11—11:32:02	中压短波槽	多云
		2020-01-14	u	14:46:27—14:53:25	中压短波槽	阴转小雪
若羌楼兰机场（海拔高度891 m）	950~4650	2021-01-02	u	12:07:05—12:13:51	西西伯利亚低槽	晴
		2021-01-08	u	12:56:50—13:04:27	西西伯利亚低槽	多云
		2021-01-08	d	19:52:13—20:09:35	西西伯利亚低槽	多云
		2021-01-09	u	11:19:35—11:26:46	西西伯利亚低槽	阴
		2021-02-01	u	17:34:42—17:41:15	短波槽	多云
		2021-02-28	u	11:44:51—11:51:56	偏西气流	多云(28日凌晨浮尘)
		2021-02-28	d	14:35:39—14:59:23	偏西气流	多云(28日凌晨浮尘)

注:u为飞机起飞过程;d为飞机降落过程。下同。

表2　能见度与污染指数

Tab. 2　Visibility and pollution index

机场	日期(年-月-日)	起降	时间/h	能见度/km	AQI	$PM_{2.5}$小时浓度/μg·m^{-3}	PM_{10}小时浓度/μg·m^{-3}
吐鲁番交河机场	2019-12-15	d	15	6.6	137	104	215
	2019-12-20	u	17	4.2	117	88	132
	2019-12-24	u	12	4.1	113	85	122
	2019-12-29	u	13	9.6	110	83	170
	2019-12-29	d	15	9.0	114	86	113
	2020-01-10	u	12	7.4	134	102	202
	2020-01-14	u	15	5.8	153	117	239
若羌楼兰机场	2021-01-02	u	13	18.9	-	-	-
	2021-01-08	u	13	15.8	-	-	-
	2021-01-08	d	20	15.3	-	-	-
	2021-01-09	u	12	9.9	-	-	-
	2021-02-01	u	18	25.5	-	-	-
	2021-02-28	u	12	4.4	-	-	-
	2021-02-28	d	15	18.7	-	-	-

注:-表示缺测值;AQI为空气质量指数。

2.3　Kolmogorov-Smirnov非参数检验(KS检验)

KS检验是一种非参数检验,常用于判断样本与预先给定的分布是否一致,或者2个样本的概率分布是否相同。显然,当两分布相近的时候,距离自然就非常小,这个统计量就是描述的距离的最大值。其原理假设H0：2个数据分布一致。当实际观测值 $D>D(n,\alpha)$（其中 n 为样本数；α 为可信度）则拒绝H0，否则接收H0假设。KS检验与 t 检验之类的其他方法不同是KS检验不需要知道数据得分布情况,在样本量比较小的时候,KS检验为非参数检验中分析2组数据之间是否不同时相当常用。一般当 P 值低于0.01或0时,拒绝原假设,即认为2份数据源于不同的分布。本文选择95%置信区间,假设希望检验的2个样本来自同一分布的原假设,如果 P 值大于0.05,假设成立;反之则拒绝原假设。

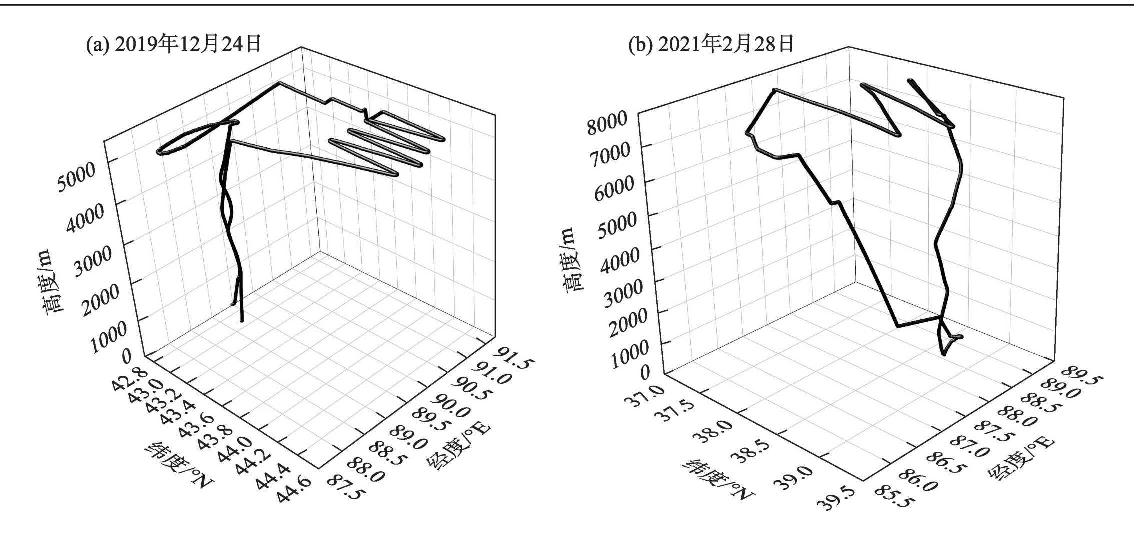


图2 飞行轨迹

Fig. 2 Flight trajectory

3 结果与分析

3.1 气溶胶统计特征

表3给出了2019—2021年共14次探测飞行过程中起降阶段吐鲁番、若羌两地气溶胶粒子数浓度与粒子平均粒径的统计计算结果。从吐鲁番前6次探测飞行数据变化来看，气溶胶粒子数浓度变化幅度不大，维持在3900·cm^{-3}附近，2019年12月15日凌晨大风过程后出现气溶胶粒子数浓度最小值1263·cm^{-3}，为前6次探测中的最小值，该过程同时出现了粒子平均粒径最大值、最小值、均值的极值；说明大风过程打破了气溶胶之前的胶性结构，气溶胶粒子数浓度短暂上升，但在消散过程中在重力影响下大直径粒子又具有明显的冲刷导致浓度降低，但大风过后仍有大量小直径粒子未消失，进而增加了中高层粒子气溶胶粒子数浓度，增大了粒子直径。从空气污染指数来看，2019年12月15日15:00 AQI为137已接近中度污染，无论是AQI、$PM_{2.5}$以及PM_{10}都为前6次探测飞行指数最大值，进而说明了大风过程后，自然源气溶胶加之人为源气溶胶使得气溶

表3 起落阶段气溶胶粒子数浓度和粒子平均粒径

Tab. 3 Aerosol particle concentration and average diameter during the take-off phase

机场	日期(年–月–日)	起降	气溶胶粒子数浓度/cm^{-3}			粒子平均粒径/μm		
			最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
吐鲁番交河机场	2019–12–15	d	8472	1263	3845	0.21	0.11	0.13
	2019–12–20	u	7888	2581	3774	0.16	0.10	0.11
	2019–12–24	u	7321	3228	4482	0.14	0.11	0.11
	2019–12–29	u	8729	1794	4071	0.14	0.11	0.11
	2019–12–29	d	9175	1521	3999	0.18	0.11	0.16
	2020–01–10	u	7109	2254	3413	0.18	0.10	0.12
	2020–01–14	u	20849	7907	13276	0.12	0.10	0.11
若羌楼兰机场	2021–01–02	u	10269	1305	5106	0.13	0.10	0.11
	2021–01–08	u	11189	2440	6261	0.12	0.10	0.11
	2021–01–08	d	19248	926	5554	0.13	0.11	0.12
	2021–01–09	u	10096	1597	5825	0.13	0.10	0.12
	2021–02–01	u	8343	836	4022	0.12	0.10	0.11
	2021–02–28	u	6325	603	2237	0.13	0.10	0.11
	2021–02–28	d	9762	473	4647	0.14	0.11	0.12

胶粒子数浓度上升并加重空气污染程度。2020年1月14日实况天气为阴转小雪，23:00开始降雪，此次降雪持续了十多个小时，其中鄯善县最大降雪量达9.8 mm，雪深100 mm，这场降雪突破了历史极值，为鄯善县、托克逊县建站60多年来最大一场降雪。从表1、表2明显看出2020年1月14日探测飞行数浓度最大值、最小值、平均值以及污染指数均达到了极值，其中气溶胶粒子数浓度最大值超过了20000·cm^{-3}，AQI超过了150，$PM_{2.5}$浓度接近117 $\mu g \cdot m^{-3}$，达到了中度污染；造成该结果的直接原因是降雪天气前有明显的上升气流，导致气溶胶粒子数浓度均值高出前几次探测的3~4倍，加之此次降雪过程又是吐鲁番2020年首场降雪，地表干燥且湿度不高，过饱和的气溶胶粒子无法吸湿而增长为微小云滴，因此粒子直径变化不明显。若羌前5次探测飞机数浓度与粒子直径变化不明显，2021年2月28日凌晨浮尘天气使得气溶胶粒子数浓度先降后升，粒子平均粒径稍有增加，说明以细沙气溶胶为主的浮尘天气过程消散缓慢。

从这14次探测飞行中可以看出，对比两地气溶胶粒子数浓度与粒子平均粒径发现具有明显的差异性，在无明显天气过程下若羌气溶胶粒子数浓度最大值明显高于吐鲁番，但最小值却普遍低于吐鲁番，总体均值若羌高于吐鲁番；粒子平均粒径方面，吐鲁番最大值普遍高于若羌，而最小值与平均值差距不大，但2019年12月15日出现大直径粒子(0.21 μm)，这与大风后沙尘气溶胶多有关联。

3.2 不同高度气溶胶粒子数浓度和粒子平均粒径的垂直分布特征

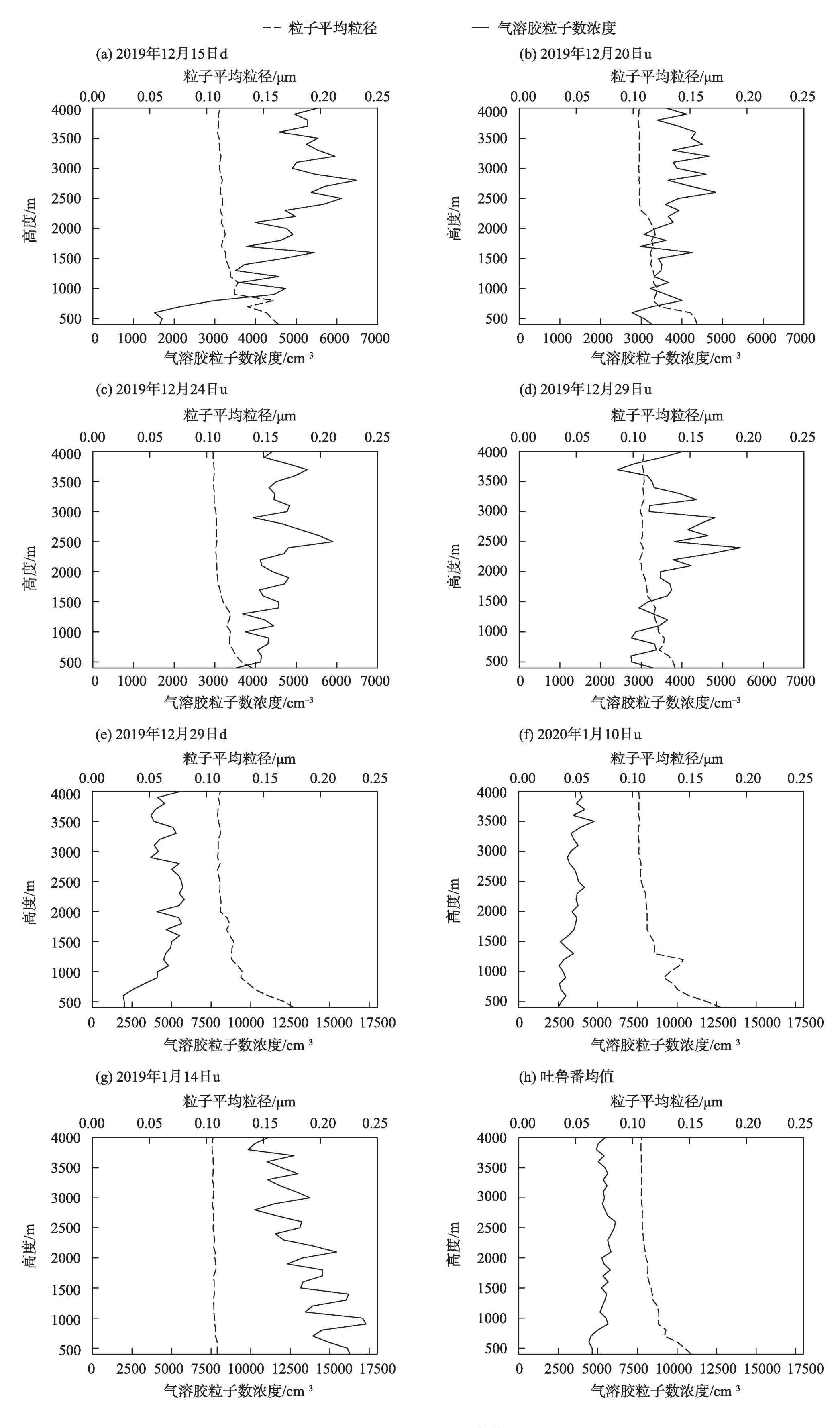
图3、图4分别给出了吐鲁番、若羌各7次探测飞行及过程中起落阶段气溶胶粒子数浓度以及粒子平均粒径的垂直分布，为减少仪器误差与飞行爬升降落过程中速度的差异，选取每个高度层±50 m的平均值进行分析计算，吐鲁番和若羌探测数据计算高度分别为400~4000 m和1000~4600 m。图5a~b为吐鲁番2次(2019年12月15日、2020年1月14日)探测飞行气溶胶粒子数浓度、温度、湿度的垂直分布变化，图5c~d为若羌2021年2月28日飞行起降过程中探测对应数据的垂直分布情况。

从若羌7次探测飞行(图4a~g)粒子直径垂直变化来看，无论是低空还是中高空其粒子直径变化非常小，粒子平均粒径在0.11 μm左右；从表2能见度也不难发现，晴天和多云若羌能见度明显优于吐鲁番，即使没有环保监测站点，其空中质量指数以及$PM_{2.5}$应优于同时段吐鲁番指数。由图4可见，除2021年2月28日起飞探测外，其余6次探测其数浓度均随高度上升而增加，2月28日当天为多云天气，00:00—06:00时出现浮尘，山区出现微雪。首先，天气过程对气溶胶粒子数浓度的垂直分布影响很大，出现了随高度上升数浓度下降的趋势；其次天气过程后对气溶胶有明显的冲刷作用，数浓度减小直径不变，气温与高度基本为线性关系(图5c、图5d)，没有逆温存在，数浓度垂直分布相对稳定；最后，天气过程结束后(图4g、图5d)，高层输入型气溶胶及时补给，各高度层数浓度逐步增加，缓慢恢复原有稳定胶性结构。

总体来看，吐鲁番、若羌高层均主要为输入型气溶胶，低层以局地性为主，差异可能是由大风天气以及吐鲁番近年来工业迅速发展加快了人为源气溶胶粒子的排放量。从数浓度垂直变化情况来看，在晴空或多云天气条件下若羌气溶胶数浓度普遍大于吐鲁番，吐鲁番近地面粒子半径有明显波动，若羌无变化，这说明与吐鲁番相比若羌较大直径粒子数量相对较少，以大量小沙尘气溶胶为主，其地理位置也决定了该区域工业活动少人为活动也少，故人为排放的人为源气溶胶粒子相对较少。

3.3 气溶胶粒子谱分布特征

大气气溶胶是由许多不同尺度的粒子构成的，因此数浓度在不同尺度上的分布情况是描述气溶胶最重要的物理量之一，称为粒子谱分布。不同的微物理过程如吸湿、碰并、聚合等都会对粒子谱分布产生明显变化。同样气象要素如温度、相对湿度、风向风速等对气溶胶粒子水平垂直方向的聚合、消散及吸湿能力具有极为重要影响[30-34]。图6给出了吐鲁番、若羌各7次探测飞行指定高度下的粒子谱分布情况。由于数浓度变化幅度较大，采用对数坐标便于分析讨论。由图6可见，两地粒子直径在0.10~3.00 μm范围内变化趋势大体一致，主要以小粒径为主，谱分布受天气过程影响变化较为明显。吐鲁番2020年1月14日探测飞行中，其探测粒子直径0.80~3.00 μm数浓度为0，很可能在逆温层的影响下，抑制了对流运动的发展，高温低湿不利于粒子凝结增长，但有利于向更高层或地面扩散，导致高层小直径粒子以及近地面小直径气溶胶粒



注：u为飞机起飞过程；d为飞机降落过程。下同。

图3 吐鲁番气溶胶粒子数浓度和粒子平均粒径的垂直分布

Fig. 3 Vertical distributions of aerosol particle concentration and average diameter in Turpan City

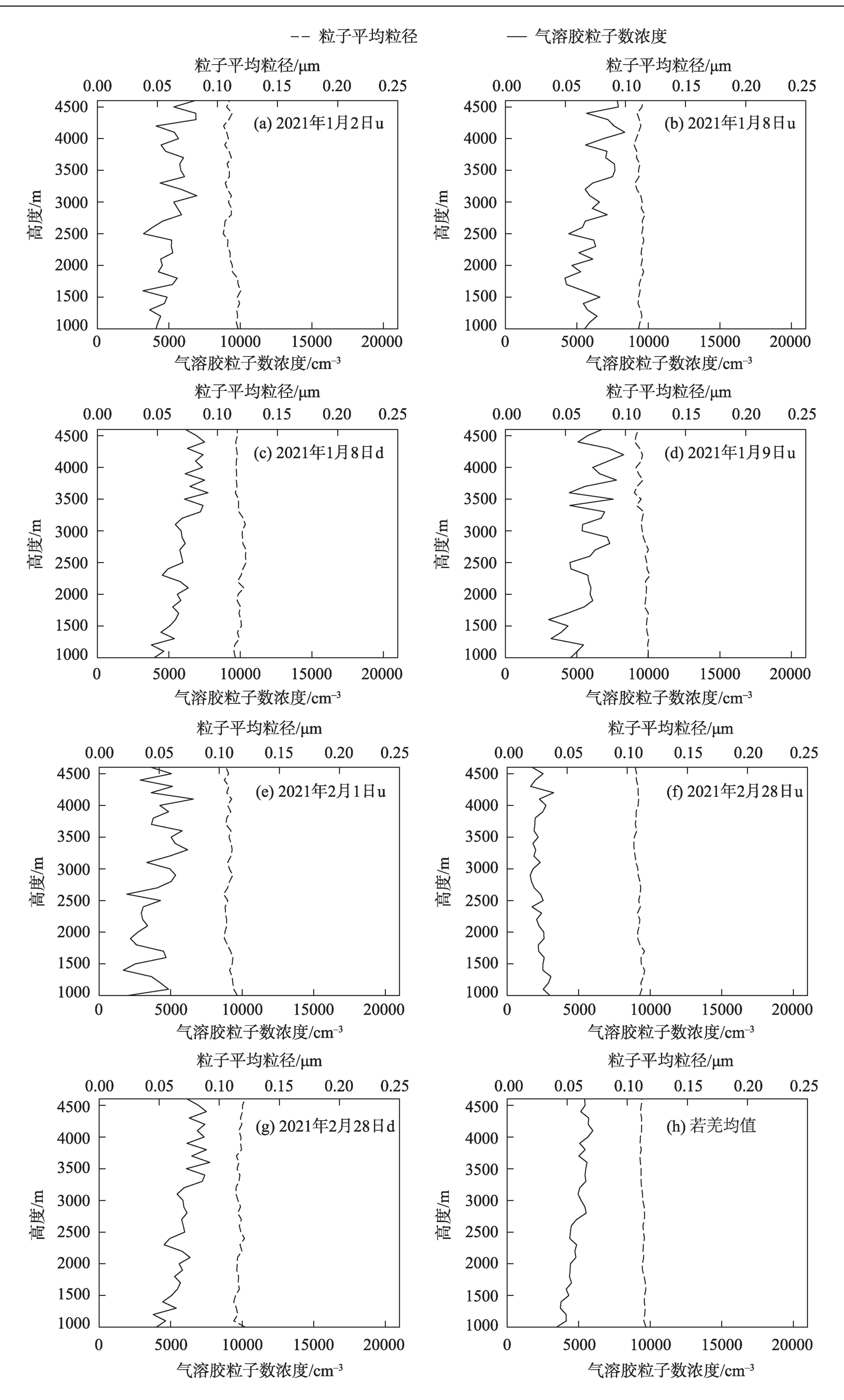


图4 若羌气溶胶粒子数浓度和粒子平均粒径的垂直分布

Fig. 4 Vertical distributions of aerosol particle concentration and average diameter in Ruoqiang County

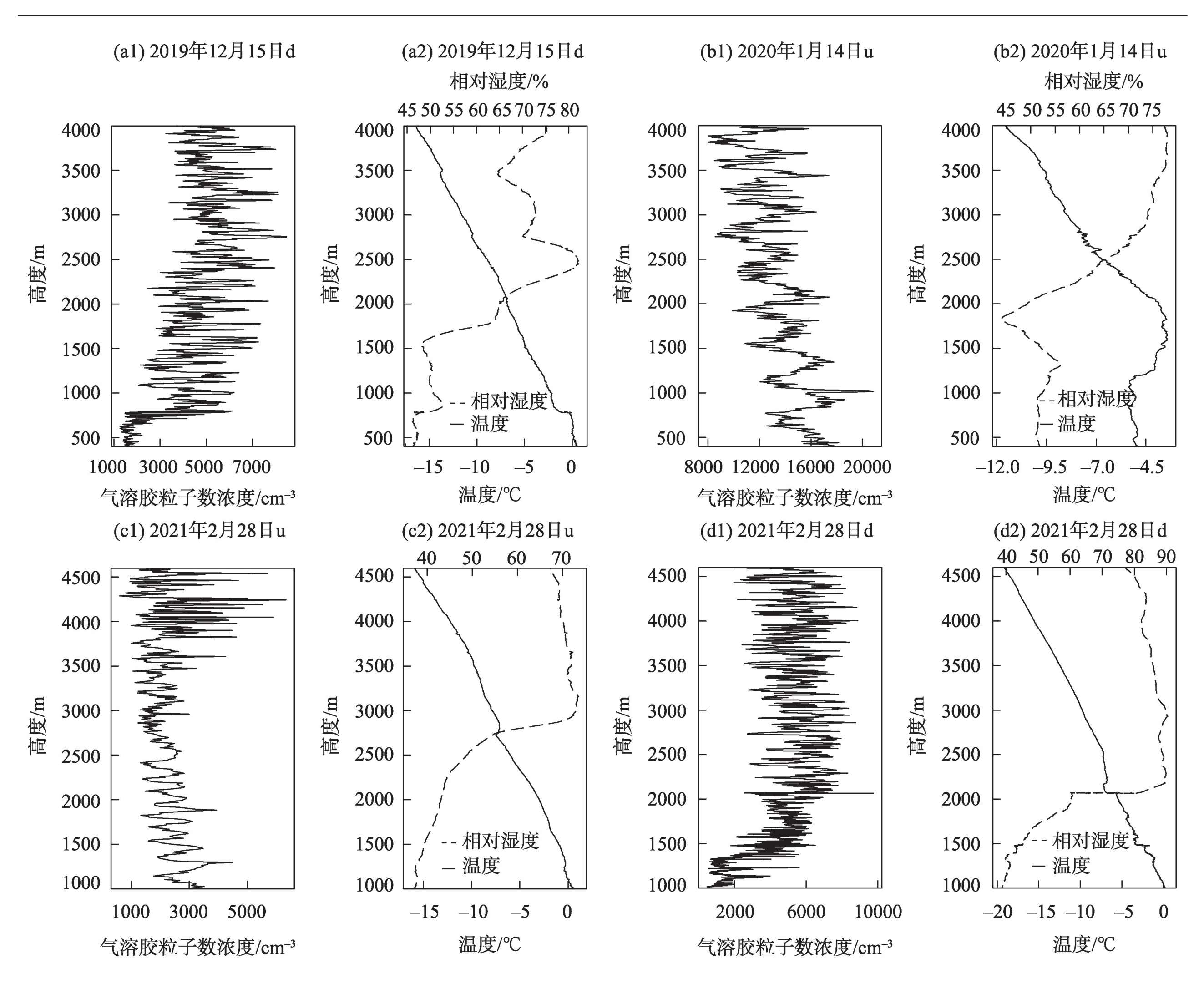


图5 探测飞行气溶胶粒子数浓度、温度、相对湿度的垂直分布

Fig. 5 Vertical distributions of aerosol particle number concentration, temperature and relative humidity in detection flights

子数浓度上升，进而导致近地面空气质量下降，$PM_{2.5}$与PM_{10}指数上升，空气污染严重。若羌探测飞行(图6b)粒子谱分布整体变化不明显，但2021年2月28日探测飞行中其大直径粒子数量要明显高于其余5次探测飞行数据，天气过程后导致的浮尘天气使得直径(1.00~3.00 μm)粒子占据了主导。

3.4 气溶胶粒子不同模态相似度

为定量了解吐鲁番、若羌两地气溶胶数谱分布特征，对两地气溶胶数谱不同模态下进行KS检验，以了解其数谱分布情况。文中将第一、第二、第三模态[28]粒径段分别划分为0.10~0.20 μm、0.20~1.00 μm、1.00~3.00 μm，分别计算3个模态每次有效探测飞行数谱之间的相似度。从表4明显看出，无论是吐鲁番还是若羌，在第一模态中数谱分布差异不大，吐鲁番最高相似度达到100.000%，最低16.780%，平均相似度为46.770%；若羌同样最高100.000%，最低5.240%，均值略高于吐鲁番，为50.330%。吐鲁番2020年1月14日探测飞行中，其第二、三模态相似度急剧下降，小于0.020%，说明降雪过程对气溶胶数浓度影响很大，打破其原有谱分布，逆温层的存在，对流运动受阻，大气低层气溶胶粒子扩散抑制，进而破坏其原有垂直分布，其余6次飞行第二、三模态相似度分别为31.550%和23.640%；从若羌(表5)第二、三模态相似度中可以得出，2021年2月28日2次探测飞行第二模态相似度仍满足置信度95%，第三模态小于0.020%，其余5次飞行第二、三模态相似度分别为28.340%和15.440%，天气过程打破了其气溶胶数谱分布，但相比吐鲁番2020年1月14日过程，未有逆温层对其第二模态中的粒子影响不大，数谱仅在第三模态中变

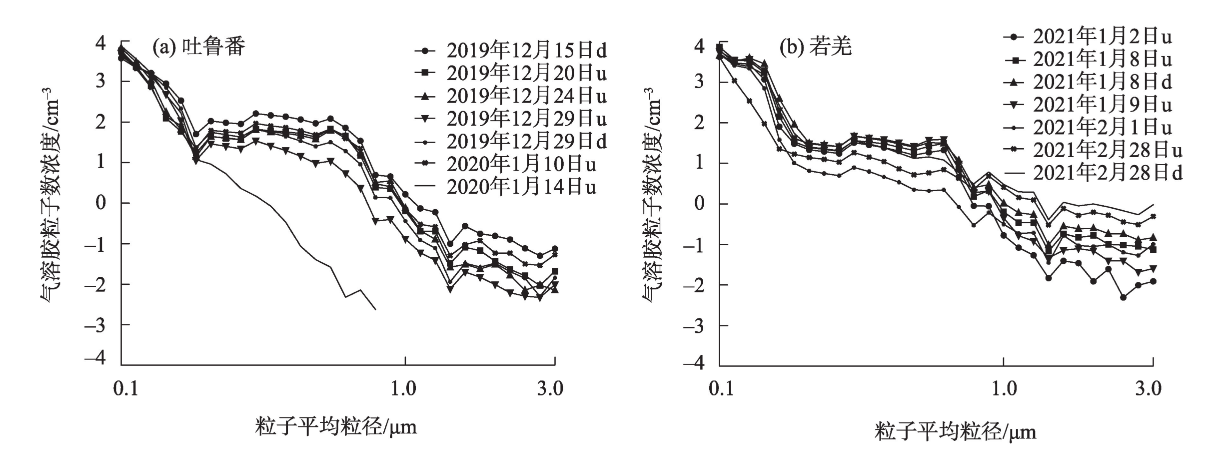


图6 吐鲁番、若羌气溶胶粒子谱分布

Fig. 6 Aerosol particle distributions in Turpan City and Ruoqiang County

化凸显。

4 讨 论

近几年，地基测量、探空气球、卫星遥感反演等多渠道手段来获取气溶胶数据已极为普遍，众多学者围绕其粒子浓度以及所处地理位置、天气条件、污染状况等方面开展一系列研究，由于细颗粒物不仅对辐射平衡、环境质量有影响，同时威胁着人类身体健康。飞机作为最有效的大气探测仪器运载工具，高效地推进中尺度天气观测以及云微物理学研究，搭载探测设备的高性能飞机不断投入使用，填补了气溶胶等不同粒子尺度在空间数据结构中

表4 吐鲁番起降阶段气溶胶粒子不同模态相似度

Tab. 4 Similarity of different modes of aerosol particles during take-off and landing in Turpan City /%

起降阶段（年-月-日）	2019-12-15d	2019-12-20u	2019-12-24u	2019-12-29u	2019-12-29d	2020-01-10u	2020-01-14u
	-	16.780	16.780	16.780	41.750	41.750	16.780
2019-12-15d	-	5.240	5.240	1.230	5.240	16.780	0.001
	-	5.240	0.210	0.022	0.210	16.780	0.001
	16.780	-	100.000	41.750	99.450	78.690	16.780
2019-12-20u	5.240	-	99.450	5.240	41.750	78.690	0.022
	5.240	-	41.750	5.240	78.690	41.750	0.001
	16.780	100.000	-	41.750	99.450	78.690	16.780
2019-12-24u	5.240	99.450	-	5.240	41.750	78.690	0.022
	0.210	41.750	-	41.750	99.450	1.230	0.001
	16.780	41.750	41.750	-	41.750	41.750	41.750
2019-12-29u	1.230	5.240	5.240	-	41.750	5.240	0.210
	0.022	5.240	41.750	-	16.780	0.210	0.001
	41.750	99.450	99.450	41.750	-	99.450	16.780
2019-12-29d	5.240	41.750	41.750	41.750	-	41.750	0.022
	0.210	78.690	99.450	16.780	-	5.240	0.001
	41.750	78.690	78.690	41.750	99.450	-	16.780
2020-01-10u	16.780	78.690	78.690	5.240	41.750	-	0.022
	16.780	41.750	1.230	0.210	5.240	-	0.001
	16.780	16.780	16.780	41.750	16.780	16.780	-
2020-01-14u	0.001	0.022	0.022	0.210	0.022	0.022	-
	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	-

表5 若羌起降阶段气溶胶粒子不同模态相似度

Tab. 5 Similarity of different modes of aerosol particles during take-off and landing in Ruoqiang County /%

起降阶段（年-月-日）	2021-01-02u	2021-01-08u	2021-01-08d	2021-01-09u	2021-02-01u	2021-02-28u	2021-02-28d
2021-01-02u	-	99.450	78.690	78.690	16.780	41.750	99.450
	-	41.750	16.780	16.780	5.240	5.240	78.690
	-	0.020	0.001	5.240	1.230	0.001	0.001
2021-01-08u	99.450	-	78.690	78.690	16.780	16.780	99.450
	41.750	-	78.690	41.750	1.230	5.240	41.750
	0.020	-	41.750	5.240	78.690	0.210	0.001
2021-01-08d	78.690	78.690	-	100.000	16.780	5.240	78.690
	16.780	78.690	-	78.690	1.230	5.240	16.780
	0.001	41.750	-	0.210	5.240	0.210	0.210
2021-01-09u	78.690	78.690	100.000	-	16.780	5.240	78.690
	16.780	41.750	78.690	-	1.230	5.240	16.780
	5.240	5.240	0.210	-	16.780	0.001	0.001
2021-02-01u	16.780	16.780	16.780	16.780	-	16.780	16.780
	5.240	1.230	1.230	1.230	-	1.230	1.230
	1.230	78.690	5.240	16.780	-	0.001	0.001
2021-02-28u	41.750	16.780	5.240	5.240	16.780	-	16.780
	5.240	5.240	5.240	5.240	1.230	-	16.780
	0.001	0.210	0.210	0.001	0.001	-	16.780
2021-02-28d	99.450	99.450	78.690	78.690	16.780	16.780	-
	78.690	41.750	16.780	16.780	1.230	16.780	-
	0.001	0.001	0.210	0.001	0.001	16.780	-

的空白。飞机是有效的大气探测仪器运载工具，它既能在短时间内飞行很大距离，获取不同要素的空间数据结构资料，又能实时、实地的精准化细致观测，因而在中尺度观测及云微物理学研究中广泛利用。高性能飞机还可使用卫星中继系统实时地发送探测资料，对补充海洋、沙漠无人区等稀少地区的气象资料有着重要作用。飞行速度快、高低空温差大、飞行颠簸等这些对机载探测仪器的设计及测量技术有特殊的要求，比如仪器灵敏度高、滞后效应低、测量精度高等，此外，飞机中还有激烈的机械振动也对测量精度有很大的要求。2018年年底新疆吐鲁番AQI达到六级严重污染，2020年3月若羌出现强沙尘天气，能见度不足50 m，人如置身沙海，严重沙尘雾霾天气备受各级政府及学者专家高度关注。本文利用2019—2020年冬季吐鲁番和2020—2021冬季若羌14次完整气溶胶探测数据资料，研究了飞机爬升或降落阶段两地上空3700 m范围内气溶胶粒子数浓度、粒子平均粒径的变化规律，给出了飞机起飞或降落阶段各个高度层中的粒子谱分布特征。由于不同地区的地形地貌、环境气候有差距性，因此对不同地区气溶胶的探测分析尤为重要，该结论对后续研究所在地区的大气环境、辐射以及气溶胶建模等方面的研究具有参考意义，为后续大气环境探测研究提供新的思路。

5 结 论

（1）从14次探测飞行中可以看出，吐鲁番、若羌两地冬季气溶胶粒子数浓度与粒子平均粒径存在明显的差异性，在无明显天气过程中若羌气溶胶粒子数浓度最大值（11829·cm^{-3}）及均值（5354·cm^{-3}）均明显高于吐鲁番（最大值8045·cm^{-3}，均值3948·cm^{-3}），但最小值（1421·cm^{-3}）却普遍低于吐鲁番（2276·cm^{-3}）；粒子平均粒径方面，两地差异不大，但吐鲁番出现大直径粒子（0.16 μm）数量高于若羌（0.13 μm），2019年12月15日大风后最为明显，粒子直径出现0.21 μm，这与沙尘气溶胶多有关联。

（2）两地气溶胶粒子数浓度、粒子平均粒径受

大风、降水等天气过程以及逆温层的影响十分明显。大风过程导致气溶胶粒子数浓度上升，在低层消散过程中大直径粒子又具有明显的冲刷力使低层气溶胶数浓度降低，但仍有大量小直径粒子未消失，进而增加了数浓度，增大了粒子直径，加重加快了空气污染。降雪天气过程前存在一定的缓慢上升气流，导致数浓度高出均值的3~4倍，干燥低湿使得过饱和的气溶胶粒子无法吸湿增长为微小云滴，所以粒子直径变化不明显。在逆温层的影响下，对流运动受阻，大气低层气溶胶粒子扩散抑制，破坏其垂直分布，从而加重了吐鲁番空气污染指数。

（3）总体来看，吐鲁番、若羌高层均主要为输入型气溶胶，低层以局地性为主，差异可能原因是大风天气以及吐鲁番近年来工业迅速发展加快了人为源气溶胶粒子的排放量。从数浓度垂直变化情况来看，在晴空或多云天气条件下若羌气溶胶数浓度普遍大于吐鲁番，两地均随高度增加而升高，但吐鲁番近地面粒子半径随高度有明显波动，若羌几乎无变化。这说明与吐鲁番相比，若羌较大直径粒子数量相对较少，以大量小沙尘气溶胶为主，其地理位置也决定了该区域工业活动少、人为活动也少，故人为排放的人为源气溶胶粒子相对较少。

（4）吐鲁番、若羌两地粒子谱分布（直径在0.10~3.00 μm）变化趋势大体一致，主要以小粒径为主，谱分布受天气过程影响变化较为明显。从三模态粒径相似度对比可以看出，无论是吐鲁番还是若羌，在第一模态中数谱分布差异不大，吐鲁番、若羌最高相似度均达到100.000%，若羌平均相似度为50.330%，值略高于吐鲁番（46.77%）。在2020年1月14日探测飞行中，其第二、三模态相似度急剧下降，均小于0.020%，相似度极低，逆温层的存在打破其原有谱分布。而若羌在2021年2月28日2次探测飞行第二模态相似度仍满足置信度95%，而第三模态仅为0.020%，其余5次飞行第二、三模态相似度均值分别为28.340%和15.440%。

参考文献（References）

[1] 毛节泰, 张军华, 王美华. 中国大气气溶胶研究综述[J]. 气象学报, 2002, 60(5): 625−634. [Mao Jietai, Zhang Junhua, Wang Meihua. Summary comment on research of atmosphere aerosol in China[J]. Acta Meteorologic Sinica, 2002, 60(5): 625−634.]

[2] 刘红年, 张力. 中国不同排放情景下人为气溶胶的气候效应[J]. 地球物理学报, 2012, 55(6): 1867−1875. [Liu Hongnian, Zhang Li. The climate effects of anthropogenic aerosols of different emission scenarios in China[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55(6): 1867−1875.]

[3] 吴蓬萍, 周长春. 人为源气溶胶的间接气候效应研究综述[J]. 高原山地气象研究, 2013, 33(2): 84−92. [Wu Pengping, Zhou Changchun. A review of indirect anthropogenic aerosol effect[J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2013, 33(2): 84−92.]

[4] Twohy C H, Durkee A, Huebert B J, et al. Effect of aerosol particles on the microphysics of coastal stratiform cloud[J]. Climate, 1995, 8(4): 773−783.

[5] Snder J R, Guibert S, Brenguier J L. Lack of closure between dry and wet aerosol measurements: Results from ACE−2[J]. AIP Conference Proceedings, 2000, 534(1): 627−631.

[6] Ianova I T, Leighton H G. Aerosol-cloud interactions in a mesoscale model[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2008, 65(2): 289−308.

[7] LoK K, Passarelli R E. The growth of snow in winter storms: An airborne observational study[J]. American Meteorological Society, 1982, 39: 697−706.

[8] 王喜红, 石广玉. 东亚地区人为硫酸盐的直接辐射强迫[J]. 高原气象, 2001, 20(3): 258−263. [Wang Xihong, Shi Guangyu. Estimation of the direct radiative forcing due to anthropogenic sulfate over eastern Asia[J]. Plateau Meteorology, 2001, 20(3): 258−263.]

[9] 张美根, 韩志伟. TRACE-P期间硫酸盐、硝酸盐和铵盐气溶胶的模拟研究[J]. 高原气象, 2003, 22(1): 1−6. [Zhang Meigen, Han Zhiwei. A numerical study on distribution of sulfate, nitrate and ammonium aerosols over east Asia during the TRACE-P campaign[J]. Plateau Meteorology, 2003, 22(1): 1−6.]

[10] 高丽洁, 王体健, 徐永福, 等. 中国硫酸盐气溶胶及其辐射强迫的模拟[J]. 高原气象, 2004, 23(5): 612−619. [Gao Lijie, Wang Tijian, Xu Yongfu, et al. Modeling sulfate aerosol and its radiative forcing over China[J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(5): 612−619.]

[11] 吴兑, 邓雪娇, 叶燕翔, 等. 岭南山地气溶胶物理化学特征研究[J]. 高原气象, 2006, 25(5): 877−885. [Wu Dui, Deng Xuejiao, Ye Yanxiang, et al. A study on the physical and chemical features of aerosols in the area south of the Nanling Mountains[J]. Plateau Meteorology, 2006, 25(5): 877−885.]

[12] 高卫东, 魏文寿, 刘明哲. 塔里木盆地区域沙尘气溶胶特征分析[J]. 干旱区地理, 2002, 25(2): 165−169. [Gao Weidong, Wei Wenshou, Liu Mingzhe. Analysis on the regional characteristics of sand-dust aerosol over Tarim Basin[J]. Arid Land Geography, 2002, 25(2): 165−169.]

[13] 田磊, 张武, 常倬林, 等. 河西走廊干旱区春季沙尘气溶胶对辐射的影响初步研究[J]. 干旱区地理, 2018, 41(5): 923−929. [Tian Lei, Zhang Wu, Chang Zhuolin, et al. Influence of spring dust aerosol on radiation over the arid in Hexi Corridor[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(5): 923−929.]

[14] 申彦波, 沈志宝, 杜明远. 敦煌地区春季大气气溶胶粒子数浓度的分析[J]. 高原气象, 2007, 26(1): 158−164. [Shen Yanbo, Shen

Zhibao, Du Mingyuan. Analysis on aerosol particle number concentration over Dunhuang region in spring[J]. Plateau Meteorology, 2007, 26(1): 158–164.]

[15] 高宇潇, 刘志辉, 王敬哲. 乌鲁木市$PM_{2.5}$浓度与MODIS气溶胶光学厚度相关性分析[J]. 干旱区地理, 2018, 41(2): 298–305. [Gao Yuxiao, Liu Zhihui, Wang Jingzhe. Correlation analysis of $PM_{2.5}$ concentration and MODIS aerosol optical depth in Urumqi City[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(2): 298–305.]

[16] 范学伟, 郑有飞, 王立稳. 基于卫星资料的气溶胶对冰云影响及分布特征分析[J]. 干旱区地理, 2021, 44(2): 484–493. [Fan Xuewei, Zheng Youfei, Wang Liwen. Aerosols and ice clouds distribution characteristics and effects of aerosols on ice clouds based on satellite data[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(2): 484–493.]

[17] Baumgardner D. A new technique for the study of cloud microstructure[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1986, 3(2): 340–343.

[18] 姚展予, 濮江平, 刘卫国, 等. 飞机探测云物理数据集的建立和应用[J]. 应用气象学报, 2004, 15(增刊1): 70–76. [Yao Zhanyu, Pu Jiangping, Liu Weiguo, et al. Foundation and application of cloud physics data set via aero-detection[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2004, 15(Suppl. 1): 70–76.]

[19] Zhang Q, Ma X C, Tie X X, et al. Vertical distributions of aerosols under different weather conditions: Analysis of in-sit aircraft measurements in Beijing, China[J]. Atmospheric Environment, 2009, 43: 5526–5535.

[20] 黄梦宇, 张蔷, 赵春生, 等. 2005年北京地区大气气溶胶的初步飞机探测研究[C]//中国气象学会2006年年会"大气成分与气候、环境变化"分会场论文集. 成都: 中国气象学会, 2006: 116–123. [Huang Mengyu, Zhang Qiang, Zhao Chunsheng, et al. Preliminary aircraft detection of atmospheric aerosols in Beijing in 2005[C]//Proceedings of the 2006 Annual Meeting of China Meteorological Society "Atmospheric Composition and Climate and Environmental Change". Chengdu: China Meteorological Society, 2006: 116–123.]

[21] Li J X, Li P R, Ren G, et al. Aircraft measurements of aerosol distribution, warm cloud microphysical properties, and their relationship over the eastern Loess Plateau in China[J]. Tellus B: Chemical & Physical Meteorology, 2019, 71(1): 1–18.

[22] 朱首正, 卜令兵, 刘继桥, 等. 机载高光谱分辨率激光雷达探测大气气溶胶光学特性及污染研究[J]. 中国激光, 2021, 48(17): 164–176. [Zhu Shouzheng, Bu Lingbing, Liu Jiqiao, et al. Study on airborne high spectral resolution lidar detecting optical properties and pollution of atmospheric aerosol[J]. Chinese Journal of Lasers, 2021, 48(17): 164–176.]

[23] 赵德龙, 肖伟, 杨燕, 等. 北京冬季重污染过程黑碳气溶胶的飞机观测[J]. 中国环境科学, 2021, 41(12): 5539–5547. [Zhao Delong, Xiao Wei, Yang Yan, et al. Aircraft observation of black carbon aerosols during heavy pollution in winter Beijing[J]. China Environmental Science, 2021, 41(12): 5539–5547.]

[24] 贺泓, 王新明, 王跃思, 等. 大气灰霾追因与控制[J]. 中国科学院院刊, 2013, 28(3): 344–352. [He Hong, Wang Xinming, Wang Yuesi, et al. Formation mechanism and control strategies of haze in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2013, 28(3): 344–352.]

[25] 吴兑. 灰霾天气的形成与演化[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(3): 157–161. [Wu Dui. Formation and evolution of haze weather[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(3): 157–161.]

[26] 金赛花, 濮江平, 张瑜, 等. 一次霾天气条件下石家庄上空大气气溶胶数浓度的飞行探测与特征分析[J]. 气象与环境科学, 2015, 38(1): 40–45. [Jin Saihua, Pu Jiangping, Zhang Yu, et al. Aircraft sounding and characteristic analysis of atmospheric aerosol number concentration over Shijiazhuang area in a haze day[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2015, 38(1): 40–45.]

[27] 秦艳, 章阮, 籍裴希, 等. 华北地区霾期间对流层中低层气溶胶垂直分布[J]. 环境科学学报, 2013, 33(6): 1665–1671. [Qin Yan, Zhang Ruan, Ji Peixi, et al. Vertical distribution of aerosols in middle and low troposphere in northern China during haze periods[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2013, 33(6): 1665–1671.]

[28] 孙霞, 银燕, 孙玉稳, 等. 石家庄地区春季晴、霾天气溶胶观测研究[J]. 中国环境科学, 2011, 31(5): 705–713. [Sun Xia, Yin Yan, Sun Yuwen, et al. An observational study of aerosols particles tlsing aircraft over Shijiazhuang area in clean and hazy days during spring[J]. China Environmental Science, 2011, 31(5): 705–713.]

[29] 高卫东, 袁玉江, 刘志辉, 等. 新疆沙尘源状况及其沙尘气溶胶释放条件分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 968–973. [Gao Weidong, Yuan Yujiang, Liu Zhihui, et al. Status of dust sources and aerosol formatting condition analysis in Xinjiang[J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(5): 968–973.]

[30] 盛裴轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003: 25–29. [Sheng Peixuan, Mao Jietai, Li Jianguo, et al. Atmospheric physics[M]. Beijing: Peking University Press, 2003: 25–29.]

[31] Li W J, Zhang D Z, Shao L Y, et al. Individual particle analysis of aerosols collected under haze and non-haze conditions at a high-elevation mountain site in the north China plain[J]. Atmospheric Chemistry & Physics, 2011, 11(22): 22385–22415.

[32] Goyal P, Sidhartha. Effect of winds on SO_2 and SPM concentrations in Delhi[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36(17): 2925–2930.

[33] 祁栋林, 赵全宁, 赵慧芳, 等. 2004—2017年青海省降尘的时空变化特征及区域差异[J]. 干旱气象, 2018, 36(6): 35–43. [Qi Donglin, Zhao Quanning, Zhao Huifang, et al. Temporal and spatial variation characteristics and regional differences of dust fall in Qinghai from 2004 to 2017[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(6): 35–43.]

[34] 王启花, 张鹏亮, 王丽霞, 等. 青海格尔木地区大气气溶胶分布的飞机观测[J]. 干旱气象, 2021, 39(4): 603–609. [Wang Qihua, Zhang Pengliang, Wang Lixia, et al. Aircraft measurements of distribution of aerosol over Golmud in Qinghai Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2021, 39(4): 603–609.]

Aircraft observation and analysis of vertical distribution of aerosols in winter in Turpan and Ruoqiang

ZHENG Bohua[1], CHEN Sheng[1], LI Yuanyuan[1], FAN Ruxia[2],
KONG Lingwen[1], HAO Lei[1]

(1. Weather Modification Office of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830002, Xinjiang, China;
2. Inner Mongolia Institute of Meteorological Sciences, Hohhot 010051, Inner Mongolia, China)

Abstract: The vertical changes to aerosol particle number concentration and average diameter in two areas during aircraft climb or landing were studied using a total of 14 airborne aerosol detection data in Turpan City, Xinjiang, China in the winter of 2019 and Ruoqiang County, Xinjiang, China in the winter of 2020, combined with macro weather and air pollution data. The characteristics of particle spectrum distribution at different heights were analyzed. The result shows: (1) There are obvious differences in the aerosol particle number concentration and particle diameter of aerosol particles in the two places in winter. In the absence of obvious weather change, the average aerosol particle number concentration data for Ruoqiang is significantly higher than that for Turpan; there is little difference in terms of average particle diameter between the two places, but the number of large-diameter particles in Turpan was higher than that for Ruoqiang, which was closely related to the presence of more dust aerosols in Turpan. (2) The aerosol particle number concentration and average particle diameter in the two places were significantly affected by weather processes such as strong wind and precipitation, as well as the temperature inversion layer. High wind process causes an increase in particle number concentration, and there is a slow updraft before the snowfall process, resulting in the aerosol particle number concentration that is 3−4 times higher than the average value. (3) In general, the upper layers of Ruoqiang and Turpan mainly contain imported aerosols, and the lower layers are mainly localized. The issue of environmental damage and air pollution is especially serious. Under clear sky or cloudy weather conditions, the aerosol particle number concentration is generally higher in Ruoqiang than in Turpan, indicating that the number of larger diameter particles in Ruoqiang is relatively less than that in Turpan, and its geographical location determines this. There are fewer industrial activities and fewer anthropogenic activities, so there are fewer particles emitted by humans. From the analysis of the aerosol particle number concentration and average diameter, it is believed that this area primarily has a large number of small dust aerosols. (4) The particle spectrum distribution in Turpan and Ruoqiang (0.10−3.00 μm diameter) is a single-peak and double-valley distribution; the peak is mainly concentrated at 0.4 μm, and the valley is mainly concentrated between 0.15 μm to 1.60 μm. The comparison of particle size similarity between the three modes shows that there is little difference in the number spectrum distribution in the first mode in Turpan or Ruoqiang, and the similarity is high. When there is an obvious weather process, the similarity of the Turpan aerosol number spectrum in the second and third modes drops sharply, and if only the third mode changes significantly, it indicates that the temperature inversion layer inhibits particle diffusion and hinders convective movement.

Key words: aerosol; aircraft measurement; vertical distribution; aerosol particle number concentration; particle diameter